

## **Thermally compensated measurement system has evaluation unit that computes temperature from relative motion of scale at 2 sensing points, compensates measurements for thermal effects**

Patent Number: DE19919042  
Publication date: 2000-11-02  
Inventor(s): NELLE GUENTHER (DE)  
Applicant(s): HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19919042  
Application Number: DE19991019042 19990427  
Priority Number(s): DE19991019042 19990427  
IPC Classification: G01B21/02; G01B11/02; G12B7/00  
EC Classification: G01B5/00C1, G01D5/347B  
Equivalents:

---

### **Abstract**

---

The system has a measurement scale (2) and a sensor head (1) that senses the scale to detect relative motion of units attached to the scale and head. The measurement scale has a bearer (2.2) with a first coefficient of thermal expansion and at least one scale (2.1). The sensing head has two sensing units (1.1, 1.2), a sensing bearer (1.3) with a second coefficient and a defined distance set between sensing units. The sensing signals are detected by two detector units and fed to an evaluation unit that computes the temperature from the relative movement of the scale at the two sensing points and compensates the measurement results for thermal effects. Independent claims are also included for the following: a method for thermal compensation of the output signals of a measurement system.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 19 042 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**G 01 B 21/02**  
G 01 B 11/02  
G 12 B 7/00

②1 Aktenzeichen: 199 19 042.9  
②2 Anmeldetag: 27. 4. 1999  
④3 Offenlegungstag: 2. 11. 2000

DE 199 19 042 A 1

⑦1 Anmelder:

Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut,  
DE

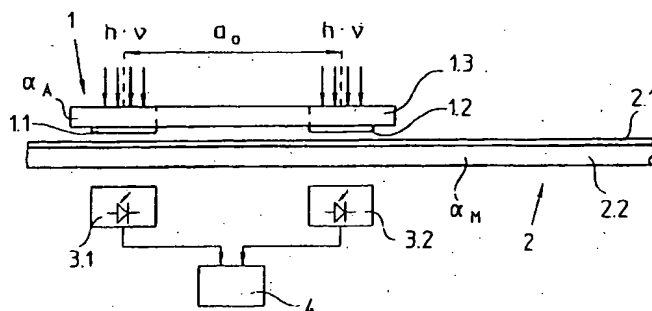
⑦2 Erfinder:

Nelle, Günther, Dr., 83346 Bergen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Thermisch kompensiertes Meßsystem

⑤7 Das erfindungsgemäße Meßsystem weist gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Systemen einen wesentlich vereinfachten Abtastkopf auf, der dennoch eine Kompensation von thermisch bedingten Fehlern ermöglicht. Erfindungsgemäß wird zunächst bei einer Referenztemperatur der Abstand zwischen zwei Abtaststellen ermittelt und im späteren Betrieb aus der Änderung des Abstands zwischen den beiden Abtaststellen im Vergleich zum Referenzabstand die gegenwärtige Temperatur berechnet. Bei Kenntnis der gegenwärtigen Temperatur kann dann ein Meßwert des Meßsystems temperaturkompensiert werden.



DE 199 19 042 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein thermisch kompensiertes Meßsystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Durchführung der thermischen Kompensation nach dem Oberbegriff des Anspruchs 5.

5 Aus der DE 198 57 132 ist bereits bekannt temperaturbedingte Maßabweichungen parallel angeordneter Meßsysteme zu kompensieren. Insbesondere bei Maschinen mit einer sogenannten Gantry-Struktur, bei denen entlang den beiden Gantry-Achsen Meßsysteme parallel zueinander angeordnet sind, kommt es aufgrund einer örtlich unterschiedlichen Temperaturverteilung in der Maschine zu örtlich unterschiedlichen temperaturbedingten Ausdehnungen, insbesondere der Maßstäbe. Werden die Meßwerte der Meßsysteme zur Regelung der Antriebe an den Gantry-Achsen benutzt, kann dies zu einem Verkanten der entlang den Gantry-Achsen bewegten Baugruppen führen. Um die thermisch bedingte Ver-  
10 schiebung der parallel angeordneten Meßsysteme zu kompensieren ist daher vorgesehen, zusätzliche Meßgeräte an einer temperaturstabilen Verbindungsbrücke zwischen den beiden parallel angeordneten Meßsystemen vorzusehen. Diese zusätzlichen Meßgeräte ermitteln dann die temperaturbedingte relative Verschiebung der parallel angeordneten Meßsysteme zueinander, so daß diese kompensiert werden kann.

15 Ein derartiges Verfahren und eine derartige Anordnung ermöglicht lediglich die Kompensation temperaturbedingter relativer Verschiebungen zwischen parallel angeordneten Meßsystemen. Eine temperaturbedingte Längenänderung eines Maßstabs eines einzelnen Meßsystems kann derart nicht kompensiert werden.

Aus der DD 248 865 ist eine Kompensation von temperaturbedingten Längenänderungen bei einem Meßsystem bekannt. Es handelt sich dabei um ein Längenmeßsystem, welches aus einem Maßstab mit einer Teilung und einem Abtastkopf zur Abtastung der Teilung des Maßstabs besteht. Der Abtastkopf weist vier Abtaststellen auf, von denen jeweils  
20 zwei auf einem Abtastträger angeordnet sind, der einen definierten Abstand zwischen den Abtaststellen einstellt. Die beiden Abtastträger weisen unterschiedliche Temperatúrausdehnungskoeffizienten auf. Dadurch werden bei einer Temperaturänderung der beiden Abtastträger die beiden definierten Abstände zwischen den jeweils zwei auf einem Abtastträger vorgesehenen Abtaststellen unterschiedlich verändert. Aus dieser Differenz der temperaturbedingten Verschiebung der zwei Abtaststellen des ersten und zweiten Abtastträgers kann die Temperaturänderung berechnet werden. Auf Basis der derart berechneten Temperaturänderung kann anschließend das Meßergebnis temperaturkompensiert werden.

Diese Vorrichtung weist den Nachteil auf, daß vier Abtaststellen auf zwei Abtastträgern mit unterschiedlichen Temperatúrausdehnungskoeffizienten im Abtastkopf erforderlich sind. Dadurch wird der Abtastkopf relativ groß und kostspielig in der Realisierung.

30 Es stellt sich daher die Aufgabe, ein temperaturkompensiertes Meßsystem anzugeben, das relativ kostengünstig und kompakt realisiert werden kann. Insbesondere soll eine möglichst geringe Anzahl Abtaststellen auf möglichst nur einem einzigen Abtastträger realisiert werden.

Diese Aufgabe wird durch ein temperaturkompensiertes Meßsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Temperaturkompensation bei einem Meßsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 5 gelöst.

35 Vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen temperaturkompensierten Meßsystems und des erfindungsgemäßen Verfahrens sind den Merkmalen der jeweils abhängigen Ansprüche zu entnehmen.

Das erfindungsgemäße temperaturkompensierte Meßsystem weist den Vorteil auf, daß lediglich zwei Abtaststellen auf einem Abtastträger im Abtastkopf erforderlich sind, um eine Temperaturkompensation durchzuführen. Dadurch kann der Abtastkopf wesentlich kleiner und kostengünstiger realisiert werden.

40 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den jeweils abhängigen Ansprüchen und der Beschreibung zu entnehmen.

Erfindungsgemäß wird in einem Referenzierungsschritt, der beispielsweise noch beim Hersteller erfolgen kann, bei einer Referenztemperatur der Referenzabstand zwischen zwei Abtaststellen eines Abtastkopfes unter Benutzung des Maßstabs ermittelt. Referenztemperatur und Referenzabstand werden in einer Auswerteeinheit gespeichert. Weiterhin werden dort die Temperatúrausdehnungskoeffizienten des Abtastträgers und des Maßstabträgers gespeichert. Während dem  
45 normalen Betrieb wird dann in bestimmten Zeitabständen der aktuelle Abstand zwischen den beiden Abtaststellen des Abtastkopfes bestimmt und unter Benutzung der gespeicherten Größen die Temperatur des Meßsystems berechnet. Aufgrund dieser Temperatur kann dann die Ausdehnung des Maßstabträgers berechnet und kompensiert werden.

Weitere Vorteile und Einzelheiten des erfindungsgemäßen temperaturkompensierten Meßsystems und des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen. Dabei zeigt:

50 **Fig. 1** die Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes temperaturkompensiertes Längenmeßsystem und

**Fig. 2** einen Schnitt durch ein erfindungsgemäßes temperaturkompensiertes Längenmeßsystem.

Das erfindungsgemäße thermisch kompensierte Meßsystem wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert, das ein Längenmeßsystem beinhaltet. Es besteht jedoch die Möglichkeit, ohne wesentliche Änderungen, das erfindungsgemäße thermisch kompensierte Meßsystem auch als Winkelmeßsystem oder zweidimensionales Meßsystem auszugestalten.

In **Fig. 1** sind die wesentlichen Baugruppen des erfindungsgemäßen thermisch kompensierten Meßsystems schematisch in einer Draufsicht dargestellt. Der Abtastkopf 1 weist zwei Abtasteinheiten 1.1 und 1.2 auf, die in einem Abstand  $a_0$  in Meßrichtung auf einen Abtastträger 1.3 angeordnet sind. Der Abtastträger 1.3 ist aus einem Material gefertigt, welches einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_A$  aufweist. Darunter ist ein Maßstab 2 angeordnet, der eine Maßstabteilung 2.1 aufweist, die in Meßrichtung auf einem Maßstabträger 2.2 angeordnet ist. Der Maßstabträger 2.2 weist einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_M$  auf, der unterschiedlich ist zum Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_A$  des Abtastträgers 1.3. Vorteilhaft wird der Abtastträger aus Zerodur gefertigt, welches einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_A$  von Null aufweist und der Maßstabträger 2.2 aus herkömmlichen Floatglas, das einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_M$  von  $7,5 \text{ K}^{-1}$  aufweist.  
65

Um eine relative Verschiebung zwischen zwei Baugruppen mit diesem Längenmeßsystem in Meßrichtung zu erfassen, wird der Abtastkopf 1 an einer ersten Baugruppe und der Maßstab 2 an einer zweiten Baugruppe befestigt, die in Meßrichtung relativ zueinander verschoben werden.

In Fig. 2 ist ein Schnitt durch ein erfindungsgemäßes thermisch kompensiertes Meßsystem dargestellt. Der Abtastkopf 1 mit seinen beiden Abtasteinheiten 1.1 und 1.2, die in Meßrichtung mit einem Abstand  $a_0$  zueinander auf einem Abtastträger 1.3 angeordnet sind, befinden sich über einem Maßstab 2, der eine Teilung 2.1 aufweist, die auf einem Maßstabträger 2.2 aufgebracht wurde. Der Abtastträger 1.3 weist einen ersten Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_A$  und der Maßstabträger 2.2 einen zweiten Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_M$  auf. In Fig. 2 ist ein Durchlichtsystem dargestellt, bei dem insbesondere die Abtasteinheiten 1.1 und 1.2 von der dem Maßstab 2 gegenüberliegenden Seite mit Lichtbündeln  $h \cdot v$  bestrahlt werden, die durch den Abtastkopf 1 und den Maßstab 2 mit mehr oder weniger starker Intensität hindurch treten und dann auf Detektoren 3.1 und 3.2 treffen. Die Detektoren 3.1 und 3.2 sind mit einer Auswerteeinheit 4 verbunden, an die sie ein zur Intensität der Lichtbündel  $h \cdot v$  proportionales Signal ausgeben.

Im folgenden wird das Verfahren zur Temperaturkompensation mit dem erfindungsgemäßen Meßsystem beschrieben.

In einem ersten Referenzierungsschritt, der unmittelbar nach Herstellung des Meßsystems erfolgen kann, wird der definierte Abstand  $a_0$  zwischen den beiden Abtasteinheiten 1.1 und 1.2 des Abtastkopfs 1 ermittelt. Dabei wird das gesamte Meßsystem zunächst auf eine konstante Referenztemperatur  $T_0$ , vorzugsweise 20°Celsius, gebracht. Dann wird unter Verwendung des vorhandenen Maßstabs 2 der Referenzabstand  $a_0$  bestimmt. Bei Verwendung von einem codierten Maßstab 2 wird dabei die Differenz aus den Abtastwerten der beiden Abtasteinheiten 1.1 und 1.2 berechnet. Diese in der Auswerteeinheit 4 berechnete Differenz ist der Referenzabstand  $a_0$  bei der Referenztemperatur  $T_0$ . Wird ein inkrementaler Maßstab 2 verwendet, so wird beim Überfahren einer Referenzmarke durch eine erste Abtaststelle ein Zähler gestartet und beim Überfahren der gleichen Referenzmarke durch die zweite Abtaststelle der Zähler angehalten. Die Zähleranzeige entspricht dann dem Referenzabstand  $a_0$  bei der Referenztemperatur  $T_0$ . Der Zähler kann dabei in der Auswerteeinheit 4 integriert sein. Referenzabstand  $a_0$ , Referenztemperatur  $T_0$  und die Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_A$  und  $\alpha_M$  von Abtastträger 1.3 und Maßstabträger 2.2 werden in einem vorzugsweise digitalen Speicher gespeichert, der vorzugsweise mit der Auswerteeinheit 4 verbunden ist.

Sind die Temperatúrausdehnungskoeffizienten des Abtastträgers  $\alpha_A$  und des Maßstabträgers  $\alpha_M$  bekannt, kann dann im normalen Betrieb aus einem aktuell ermittelten Abstand  $a_1$  zwischen den beiden Abtasteinheiten 1.1 und 1.2 die Temperatur  $T_1$  des Meßsystems nach Gleichung (1) ermittelt werden:

$$T_1 = T_0 + \frac{a_1 - a_0}{a_0 * (\alpha_A - \alpha_M)} \quad (1)$$

Aus Gleichung (1) kann ein Korrekturwert  $K_1$  bestimmt werden zu:

$$K_1 = T_1 - T_0 = \frac{a_1 - a_0}{a_0 * (\alpha_A - \alpha_M)} \quad (2)$$

Dabei wird davon ausgegangen, daß Maßstab 2 und Abtastkopf 1 die gleiche Temperatur  $T_1$  aufweisen. Aus dieser ermittelten Temperatur  $T_1$  kann anschließend der Positionswert  $x_{T_0}$ , bezogen auf einen temperaturunabhängigen Fixpunkt  $x_0$  des Maßstabs 2 temperaturkompensiert auf die Temperatur  $T_0$  nach Gleichung (3) ermittelt werden:

$$x_{T_0} = \frac{x_0 * \alpha_M * K_1 + x_{T_1}}{\alpha_M * K_1 + 1} \quad (3)$$

Dabei ist  $x_{T_1}$  der bei der Temperatur  $T_1$  angezeigte Positionswert.

Sollen die Meßwerte an eine Ausdehnung eines zu bearbeitenden Werkstücks, das einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten  $\alpha_w$  aufweist, angeglichen werden, kann unter der Voraussetzung gleicher Temperatur an Werkstück und Maßstab gemäß Gleichung (4) ein thermisch kompensierter werkstückbezogener Meßwert  $x_{w0}$  berechnet werden:

$$x_{w0} = \frac{x_0 * K_1 * (\alpha_M - \alpha_w) + x_{T_1}}{(\alpha_M - \alpha_w) * K_1 + 1} \quad (4)$$

Derart ist auch bei Werkzeugmaschinen mit Gantry-Achsen, die unterschiedliche Temperaturen aufweisen und bei denen jede Achse mit einem Meßsystem ausgestattet ist, eine Korrektur der Positionswerte möglich, um eine Schiefstellung des parallel zu den Gantry-Achsen verfahrenen Schlittens zu verhindern. Wenn beide Meßsysteme für die Gantry-Achsen am Anfang des Maßstabs ihren Fixpunkt aufweisen, wird ohne Temperaturkompensation der Schlitten auf beiden Gantry-Achsen auf dem Meßwert  $x$  positioniert, was bei unterschiedlichen Temperaturen der beiden Meßsysteme eine Schiefstellung des Schlittens bedeutet. Um den Schlitten senkrecht zu den Gantry-Achsen zu positionieren, muß in der ersten Achse die Position  $x$  um den Wert  $x_1$  und in der zweiten Achse die Position  $x$  um den Wert  $x_2$  korrigiert werden, bzw. eine Achse um den Betrag  $x_1 - x_2$  korrigiert werden.  $x_1$  und  $x_2$  berechnen sich wie folgt aus dem ursprünglichen Meßwert  $x$  und der individuellen Temperatur  $T_1$  und  $T_2$ , die gemäß Gleichung (2) eingeht:

$$x_1 = x - \frac{x_0 * \alpha_M * K_1 + x}{\alpha_M * K_1 + 1}$$

und

$$x_2 = x - \frac{x_0 * \alpha_M * K_2 + x}{\alpha_M * K_2 + 1}$$

Mit  $K_1 = T_1 - T_0$  und  $K_2 = T_2 - T_0$ .

Die Berechnung der Werte zur thermischen Kompensation erfolgt im Meßsystem während der Messung, so daß das Meßsystem nur temperaturkompensierte Werte an eine eventuell angeschlossene Steuerung ausgibt und diese derart von Rechenaufgaben entlastet.

#### Patentansprüche

##### 1. Thermisch kompensiertes Meßsystem,

das einen Maßstab (2) und einen Abtastkopf (1) aufweist, welcher den Maßstab (1) abtastet, um eine Relativbewegung zwischen einer Baugruppe, an der der Maßstab (2) befestigt ist und einer Baugruppe, an der der Abtastkopf (1) befestigt ist, zu erfassen,

bei dem der Maßstab (2) einen Maßstabträger (2.2) mit einem ersten Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_M$ ) und mindestens eine Maßstabteilung (2.1) und der Abtastkopf (1) Abtasteinheiten (1.1, 1.2) und einen Abtastträger (1.3) mit einem zweiten Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_A$ ) aufweist, wobei durch den Abtastträger (1.3) ein definierter Abstand ( $a_0$ ) zwischen den Abtasteinheiten (1.1, 1.2) eingestellt wird,

bei dem Detektoreinheiten (3.1, 3.2) für die Abtastsignale vorgesehen sind, deren Ausgangssignale einer Auswerteeinheit (4) zugeleitet werden **dadurch gekennzeichnet**,

daß der Abtastkopf (1) zwei Abtasteinheiten (1.1, 1.2) aufweist, daß zwei Detektoreinheiten (3.1, 3.2) vorgesehen sind und daß die Auswerteeinheit (4) ausgestaltet ist, um aus der Relativverschiebung des Maßstabs (2) zu den beiden Abtaststellen (1.1, 1.2) die Temperatur (T) zu berechnen und das Meßergebnis thermisch zu kompensieren.

2. Meßsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abtastträger (1.3) aus Zerodur besteht und einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_A$ ) von ungefähr Null aufweist.

3. Meßsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Maßstabträger (2.2) aus Floatglas besteht und einen Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_M$ ) ungleich Null aufweist.

4. Meßsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Längen- oder Winkelmessung ausgestaltet ist.

5. Verfahren zur thermischen Kompensation von Ausgangssignalen eines Meßsystems, bei dem in Meßrichtung der Unterschied in der thermisch bedingten Ausdehnung von zwei Trägern mit bekannten, unterschiedlichen Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_A$ ,  $\alpha_M$ ) ermittelt wird und daraus eine thermische Kompensation berechnet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Unterschied in der thermisch bedingten Ausdehnung zwischen Abtastträger (1.3) und Maßstabträger (2.2) ermittelt wird, daraus die Temperatur (T) berechnet wird und das Meßergebnis aufgrund der Temperatur (T) thermisch kompensiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß einmalig in einem Referenzschritt bei bekannter Referenztemperatur ( $T_0$ ) unter Benutzung des Maßstabs (2) ein Referenzabstand ( $a_0$ ) zwischen den beiden Abtasteinheiten (1.1, 1.2) des Abtastkopfes (1) ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus der bekannten Referenztemperatur ( $T_0$ ), dem bekannten Referenzabstand ( $a_0$ ), dem bekannten Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_A$ ) des Abtastträgers (1.3), dem bekannten Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_M$ ) des Maßstabträgers (2.2) und dem gemessenen Abstand ( $a_1$ ) die gegenwärtige Temperatur ( $T_1$ ) gemäß der Gleichung

$$T_1 = T_0 + \frac{a_1 - a_0}{a_0 * (\alpha_A - \alpha_M)}$$

berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei gleicher Temperatur ( $T_1$ ) an Werkstück und Maßstab (2) und bei bekanntem Temperatúrausdehnungskoeffizienten ( $\alpha_w$ ) des Werkstückmaterials eine thermische Kompensation des Meßwerts  $x_{T_1}$  gemäß der Gleichung

$$x_{w_0} = \frac{x_0 * K_1 * (\alpha_M - \alpha_w) + x_{T_1}}{(\alpha_M - \alpha_w) * K_1 + 1}$$

erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus der ermittelten gegenwärtigen Temperatur ( $T_1$ ) der detektierte Positionswert ( $x(T_1)$ ) in der Auswerteeinheit (4) gemäß der Gleichung

$$x_{T_0} = \frac{x_0 * \alpha_M * K_1 + x_{T_1}}{\alpha_M * K_1 + 1}$$

temperaturkompensiert wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es in einem Längen-, Winkel- oder zweidimensionalen Meßsystem angewendet wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

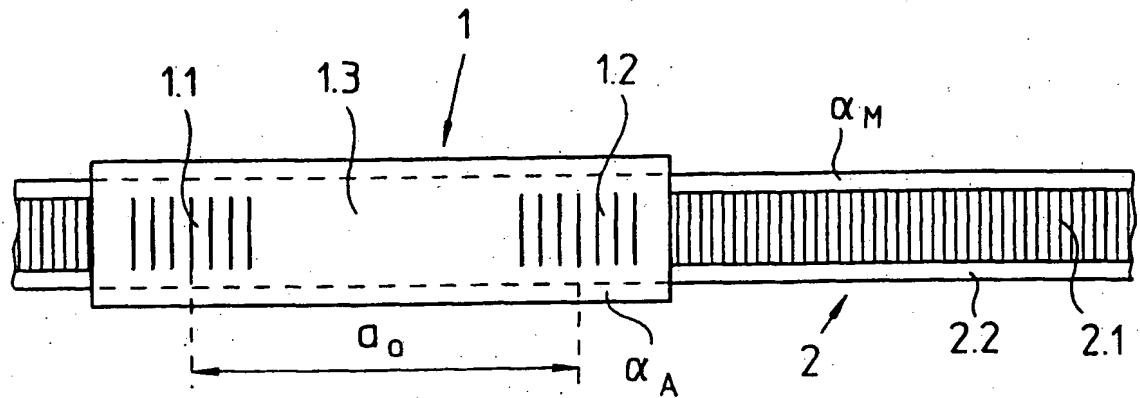


FIG. 2

